中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 34(3)：258～265 (1985)

水稻生長分析及吸光係數之研究[1]

蔡 金 川[2]

摘要：於民國72年第二期作栽植早、中、晚熟水稻品種豐錦、臺農67號及臺中秈3號作試驗，進行生長分析及羣落內吸光係數之測定，比較三品種之差異，由試驗結果可知早熟品種之下位葉及總葉面積指數（上位葉＋下位葉）於抽穗期呈現高峰，上位葉之葉面積指數在抽穗後之乳熟期才達到高峰。中熟品種臺農67號之總葉面積指數於孕穗期呈現高峰，上位葉之葉面積指數亦在孕穗期達到高峰，抽穗前後二週變動較少，保持平穩直線的趨勢，至糊熟期才下降，下位葉之葉面積指數於抽穗期達到高峰，然後急速下降，晚熟品種臺中秈3號之上、下位葉面積指數及總葉面積指數皆於孕穗期出現高峰。

豐錦之 CGR, NAR 及 RGR 自取樣初期（移植後43天）因生育期之後移而急速下降，臺農67號此三者於整個採樣時期（移植後43—85天）呈現近似波浪型的變動，亦皆於抽穗期出現次高峰，而臺中秈3號之 CGR 同樣出現波浪型的曲線，抽穗前後一週各出現高峰，但比他兩品種爲低，自採樣初期至抽穗期 NAR 變化很小，至乳熟期才達高峰，然後急速下降，其 RGR 自生育初期至孕穗期變化很小近似直線軌跡，至抽穗期才開始遞減。其 CGR, NAR 及 RGR 於整個採樣時期之變化幅度較小，變化曲線趨於拋物線型。

至於吸光係數（K）三品種皆由取樣初期（移植後36天）而遞增，豐錦至成熟期突然大幅度下降，臺農67號也稍有降低的趨勢，而臺中秈3號整個採樣時期吸光係數的曲線最低，顯示其羣落內受光態勢良好。

水稻經由光合作用進行物質生產，乾物質爲其產物，稻穀乃乾物質之一部分，田中[7]指出水稻最終產量可用收穫時的全乾物重和收穫指數的乘積表示。因此，對羣落的乾物質生產過程的探討，有助於瞭解稻穀產量的形成，甚至可應用於提高產量的方法。

探討作物的全生育期間乾物質生產過程以生長分析（growth analysis）爲簡便方法。早在1920年代英國生物學家就開始使用，以葉面積與乾物重就可進行分析[8]。其方法乃植物或作物之一定生育期間（如每隔一週，每隔二週或每隔三週等），進行取樣，測定葉面積（展開之葉片）與乾物重（儘可能把葉、莖、根、花、子實等各部份分開），其測定值可計算葉面積指數（leaf area index, LAI），葉面積比（leaf area ratio, LAR），相對生長速率（relative growth rate, RGR），淨同化速率（net assimilation rate, NAR），作物生長速率（Crop growth rate, CGR）等。

本試驗以生長分析的方法，利用水稻在移植後36～92天之生育期間，每隔一週取樣進行分析，探討現行栽培之早、中、晚熟品種（豐錦、臺農67號、臺中秈3號），在不同生育期之生長情形，可知水稻各生育階級之生長趨勢，葉面積的分佈是否最有效的利用自然日照，以利製造更多之光合或產物。

並測定三品種各生育期羣落內吸光係數之變化情形，藉此可瞭解水稻羣落內葉片互相遮蔭的狀況，以及羣落理受光態勢的情形。諸如以上種種之生理現象，可供從事育種及栽培改進之參考。

1.臺灣省農業試驗所 研究報告第1229號 。
2.本所農藝系技士。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

材料與方法

本試驗於民國72年第二期作，在本所試驗田進行，供試早、中、晚品種分別爲豐錦、臺農67號及臺中秈3號。採用逢機完全區集設計，行株距 25×25 cm，每小區 9.38 m^2 重複三次。肥料用量：硫酸錏、過磷酸鈣及氯化鉀分別爲 580、250、85 kg/ha，其他田間管理按一般管理法。

移植後 36 天開始採樣，每隔一週取樣一次。每次自田間採三小區十八叢之稻株，洗淨後立即採葉片，自上第1葉至第3葉爲上位葉，第3葉之下爲下位葉，以自動測定儀測葉面積，剪去根部後把樣品放在 100°C 下通風乾燥箱 1－2 小時後，再以 80°C 處理至完全乾燥，秤量全乾物重，用全乾物重與葉面積以下列公式求 CGR, NAR 與 RGR (13)。

$$CGR=\frac{W_2-W_1}{t_2-t_1} \cdots\cdots ①$$

$$NAR=\frac{(W_2-W_1)(l_nA_2-l_nA_1)}{(t_2-t_1)(A_2-A_1)} \cdots\cdots ②$$

$$RGR=\frac{l_nW_2-l_nW_1}{t_2-t_1} \cdots\cdots ③$$

$$CGR=NAR\times LAI \cdots\cdots ④$$

前後採樣時期分別爲 t_1 與 t_2 其各別時期所得之全乾物重爲 W_1, W_2 葉面積爲 A_1, A_2。生育後期採用④式求取 NAR，因該時期的生長已失去指數級數的關係。

配合採樣時期亦每隔一週上午 10 點左右測定羣落上面之入射光强度 I_0。及羣落內株間中央地面上5公分之光强度（I），然後求其吸光係數[12]：K(light extinction colfficient $=-\frac{l_nI/I_0}{LAI}$)。

結果與討論

由圖1知早熟品種豐錦之下位葉與總葉面積指數（上位葉＋下位葉）於抽穗期達到高峰，中熟品種臺農67號之上位葉葉面積指數與總葉面積指數以及晚熟品種臺中秈3號均於孕穗期出現高峰，這與前報告[3]相類似，而豐錦之上位葉葉面積指數延至抽穗後5天左右才達到高峰，臺農 67 號之下位葉葉面積指數於抽穗期才出現高峰。村田[5]認爲水稻在生育期間葉面積指數出現高峰期之變異性與品種特性或栽培管理有關。但此試驗結果所示上、下位葉葉面積指數在各生育期之變化情形以及高峰期之異同可能與葉片的發育與老化之生理現象有關。三品種葉面積指數於抽穗後之穀粒充實期皆顯著的下降，亦與葉片黃化或老化有關。

作物生長速率（CGR）由淨同化率（NAR）與葉面積指數（LAI）之兩要素所構成，若要提高 CGR，增加 LAI 較容易效果亦較好，特別是抽穗後之穀粒充實期皆有降低的趨勢，又前試驗如表1[4]，第一、二期作臺北與臺中地區抽穗期及乳熟期作物生長速度與產量皆呈顯著性的正相關，糊熟期大部份亦是正相關，其他與產量構成要素也大部份有正相關的關係。津野[6]也認爲 CGR 之大小，決定作物產量之豐收與否。前報告[3]認爲水稻抽穗期至糊熟期 LAI 與產量呈顯著性之正相關，又 IRRI[11]的報告也認爲水稻自開花至成熟期若有充分的葉面積指數可增加其乾物重。武田等[9,10]指出穗肥可以補充水稻穀粒充實期葉片氮素轉移至穗部形成葉片氮素的不足，即提高水稻穀粒充實期葉片氮素的含量，又認爲水稻穀粒充實期間葉片氮素含量較高者可增加 LAI 與提高光合成速度。而 Ray and Chondhuri[15]認爲 Cytokinin 或 kinetin 可延遲水稻老化。因此於穀粒充實期不影響羣落裡受光態勢之下，適當施穗肥或使用植物 Hormone 可提高葉面積指數，減少 CGR 大幅度的降低，乃提高產量有效方法之一。

表1. 水稻抽穗至糊熟期間生長速率與產量及產量構成要素之相關

Table 1 Correlations of crop growth rate (CGR) and yield Components at three growth stages.

Growth Period	Type	Crop Season	Yield Components								Grain yield g/hiil	
			Pamcle munber Per hill		Number of spikelets per panucle		Percentage of ripened Grains		1000-grain-Weight(g)			
			Taipei	Taichung	Taipei	Taichung	Taipei	Taichung	Taipei	Taichung	Taipei	Taichung
Heading	Japonica	1st crop (1981)	0.3430	0.5653*	0.1170	0.2421	0.5702*	0.0739	0.4057	0.4189	0.8770 **	0.6496 **
		2nd crop (1980)	0.5314*	0.6779**	0.5709*	−0.0968	0.6313**	0.4711	0.8744**	0.0704	0.8732 **	0.7352 **
	Indica	1st crop (1981)	0.1915	0.3430	0.4089	0.5278*	−0.1483	0.2564	0.8411**	0.0907	0.8419 **	0.6232 *
		2nd crop (1980)	0.4710	0.5210*	0.3052	0.1451	0.0822	−0.0888	0.7684**	0.5050	0.7690 **	0.6333 *
Milk-ripe Stage	Japonica	1st crop (1981)	0.5681*	0.2974	0.2602	0.5437*	0.5894*	0.0048	0.4972	0.3095	0.9428**	0.7479**
		2nd crop (1980)	0.3956	0.3305	0.4771	−0.1660	0.6609**	0.3708	0.8804**	0.5626*	0.8829**	0.6587**
	Indica	1st crop (1981)	0.2103	0.6308*	0.2243	0.1084	0.0166	−0.0891	0.6901**	0.1637	0.6906**	0.6219*
		2nd crop (1980)	0.2209	0.2711	0.4418	−0.3458	0.1199	0.5812*	0.9226**	0.7839**	0.9262**	0.5669*
Dough-ripe stage	Japonica	1st crop (1981)	0.2118	0.1059	−0.4387	0.2345	0.0286	−0.0514	0.2505	0.3073	−0.0222	0.4530
		2nd crop (1980)	−0.3402	−0.2377	0.5530*	0.3947	0.3260	−0.1233	0.6673**	0.1280	0.6705**	0.1481
	Indica	1st crop (1981)	−0.1471	0.0693	0.2461	0.5075	0.5501*	−0.4508	0.1705	−0.3838	0.1700	0.4745
		2nd crop (1980)	0.4201	−0.1825	0.2818	0.334	−0.1937	−0.0191	0.5579*	0.2765	0.5581*	0.3895

Note: *, ** Significant at 5% and 1% level, respectively.

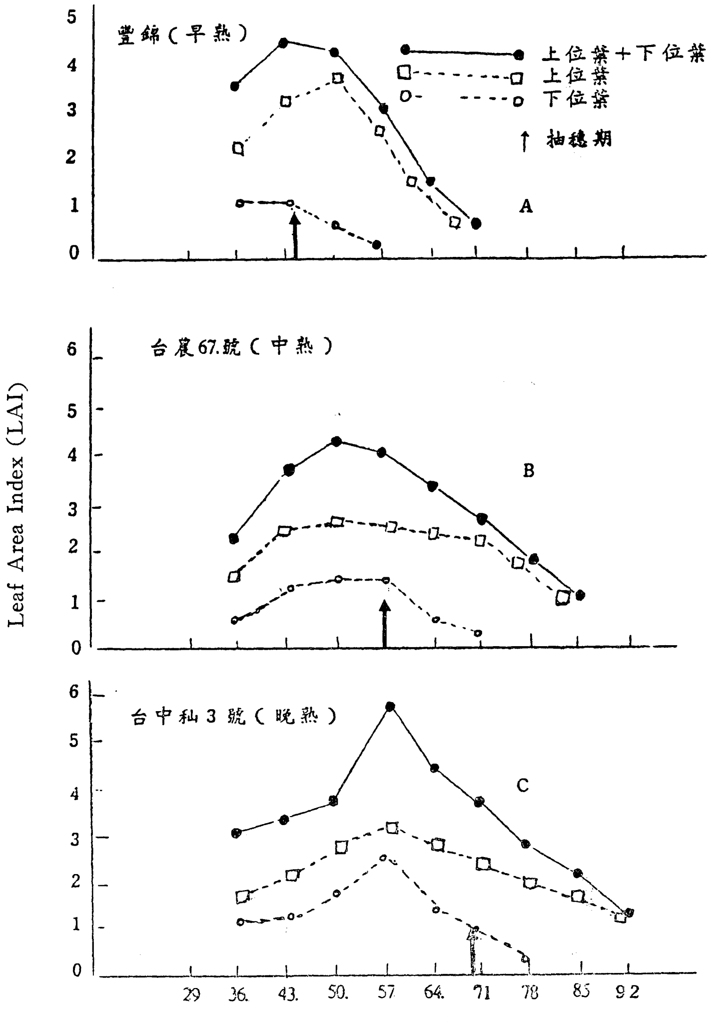
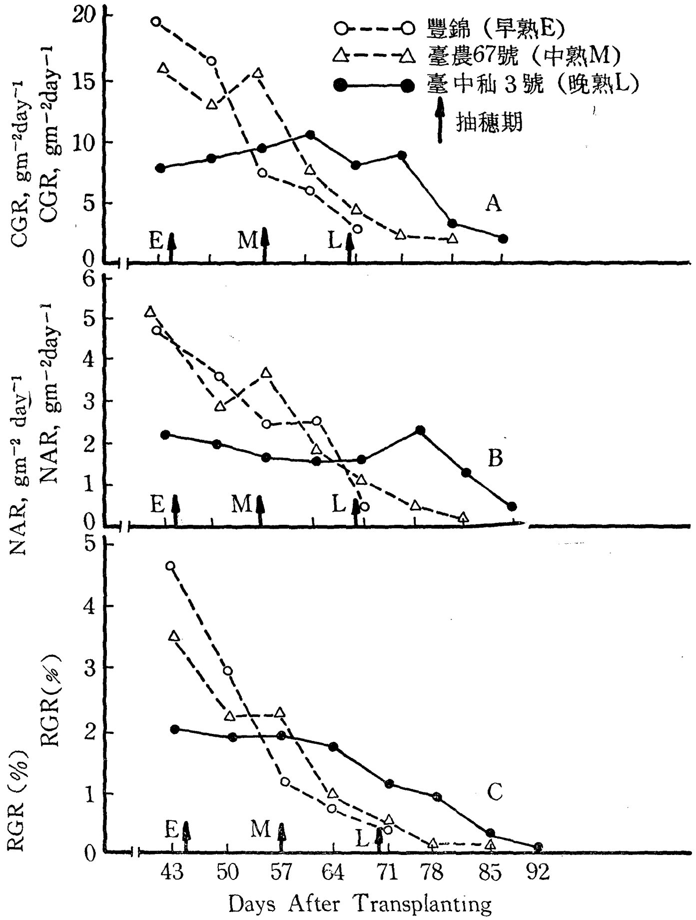


圖1. 二期作水稻各生育時期葉面積指數之變化。

Fig 1. Changes of leaf area index (LAI) of rice varieties at stages of development.

臺農 67 號之上下位葉面積指數與總葉面積指數於生育各期變化幅度較其他兩品種小，其上位葉之葉面積指數於抽穗前後兩週保持 2.5 左右，糊熟期才開始遞減，抽穗後總葉面積指數也緩慢下降（圖1 B）。如此可維持其較高的作物生長速率，這或許構成臺農 67 號高產的原因之一。津野[5]認爲構成水稻穀粒充實率降低的原因，乃是穀粒充實期間作物生長速率較低所致，若能維持較高的葉面積指數，可減少 CGR 的降低，也可提高穀粒充實率。

圖 2A 可知三品種 CGR 之變化趨勢，豐錦之 CGR 於抽穗前 2 天左右出現高峯，然後急速下降，田中[7]把水稻生育期間 CGR 之變化分爲 a. b. c 型，豐錦可屬於 b 型：生育初期 CGR 高，生育後期降低之品種，因此產量減低。臺中秈 3 號在孕穗期達到最高峯，抽穗後一週出現次高峯，這時 CGR 爲 8.9 g/m^2/day 與日本高產品種之 CGR 9.1 g/m^2/day[5] 相差無幾，整個生育期間 CGR 之變化幅度較小，屬於 c 型：CGR 生育初期較低，生育後期仍維持較高 CGR 之品種，產量比較高。Oka[13] 等[13]稱之爲 "late-vigor type"。而臺農 67 號之 CGR 出現兩次高峯，孕穗期與



Days After Transplanting

圖 2. 二期作水稻各生育時期作物生長速率（CGR），純同化率（NAR, ）及相對生長造率（RGR）之變化。

Fig. 2 Changes of Crop Growth Rate (CGR), Net Assimillation Rate (NAR) and Relative Growth Rate (RGR) at stages of development.

抽穗期各一次，生育後期之 CGR 介於其他兩品種之間。因此可屬於 b. c 型之中間型的品種。

圖 2B 所示三品種之 NAR 於各生育時期之變化趨勢並不一致。早、中、晚熟三品種出現最高之 NAR 時期分別於抽穗期、幼穗形成期以及乳熟期。抽穗前 NAR 較高，穀粒充實期急速下降，一般抽穗前水稻葉片氮素含量較高[1,2]，這時 NAR 上昇可能與此有關。津野[6] 指出水稻生育初期至穀粒充實期葉片氮素濃度與光合成能力成比例的關係，而抽穗後若要提高 NAR，要有良好的株型如葉片直立型等受光態勢較好及葉片不易老化保持適當 LAI，並提高氮素含量。實際上提高 NAR困難較多，因 NAR 牽涉因子較複雜如光合成能力，受光能率，呼吸與葉面積之比皆是。改良品種增強其穀粒充實期之光合成能力及葉片直立型受光態勢良好，這些都有可能提高 NAR，同時增大CGR。

三品種之 RGR 大致由取樣開始因生育期之後移而遞減，豐錦與臺農 67 號呈急速的下降，而臺中秈3號生育各期 RGR 之曲線變化幅度較小，下降也最緩慢，穀粒充實期仍保持較高的 RGR（圖 2c）。

表2. 水稻抽穗至糊熟期間吸光係數與葉長及葉角之相關。

Table 2 Correlations of light extinction coefficient (K) and leaf length and leaf angle at three growth stages.

Crop Season	Type	Leaf position	Heading: leaf length, Taipei	Heading: leaf length, Tai-chung	Heading: leaf angle, Taipei	Heading: leaf angle, Tai-chung	Milk-ripe stage: leaf length, Taipei	Milk-ripe stage: leaf length, Tai-chung	Milk-ripe stage: leaf angle, Taipei	Milk-ripe stage: leaf angle, Tai-chung	Dough-ripe stage: leaf length, Taipei	Dough-ripe stage: leaf length, Tai-chung	Dough-ripe stage: leaf angle, Taipei	Dough-ripe stage: leaf angle, Tai-chung
1st crop (1981)	Japonica	flag leaf	0.6676**	0.3549	0.5848*	0.5343*	0.4170	0.7405**	0.8970**	0.7598**	0.2403	0.7898**	0.7755**	0.7778**
		2nd leaf	0.6076*	0.4027	0.7022**	0.7673**	0.7103**	0.6809**	0.8852**	0.6862**	0.5646*	0.7110**	0.7511**	0.8271**
		3nd leaf	0.5934*	0.6978**	—	—	0.2492	0.6553**	—	—	0.1788	0.5631*	—	—
	Indica	flag leaf	0.2847	0.3929	0.4190	0.8662**	0.5662*	0.7259**	0.9754**	0.7993**	0.7635**	0.7995**	0.9370**	0.7638**
		2nd leaf	0.1893	0.3393	0.2888	0.5299*	0.4922	0.6418**	0.9530**	0.5113	0.6519**	0.7798**	0.9286**	0.8724**
		3nd leaf	0.1392	0.3969	—	—	−0.1652	0.5275*	—	—	−0.0905	0.7007**	—	—
2nd crop (1980)	Japonica	flag leaf	0.5155*	0.6234*	0.6374*	0.8193**	0.5889*	0.8695**	0.3681	0.7227**	0.3026	0.4670	0.1881**	0.4626
		2nd leaf	0.5082	0.4715	0.6499**	0.6549**	0.5589*	0.7373**	0.3714	0.6909**	0.3954	0.4478	0.2559	0.4415
		3nd leaf	0.2200	0.5998*	—	—	−0.1082	0.5332*	—	—	−0.2433	0.2698	—	—
	Indica	flag leaf	0.3386	0.5489*	0.4203	0.7649**	0.0874	0.7398**	0.5248*	0.5517*	−0.0364	0.4612	0.3279	0.2484
		2nd leaf	0.2791	0.2764	0.3896	0.8030**	0.1599	0.3853	0.4647	0.0952	0.1381	0.2265	0.2299	0.1163
		3nd leaf	0.3319	0.1191	—	—	−0.2769	0.3854	—	—	−0.1933	0.2233	—	—

(Column heads: Growth period — Heading / Milk-ripe stage / Dough-ripe stage; leaf length or leaf angle; Location: Taipei, Tai-chung.)

Note: *, ** Significant at 5% and 1% level, respectively. Angle was measured down-ward from the vertical line.

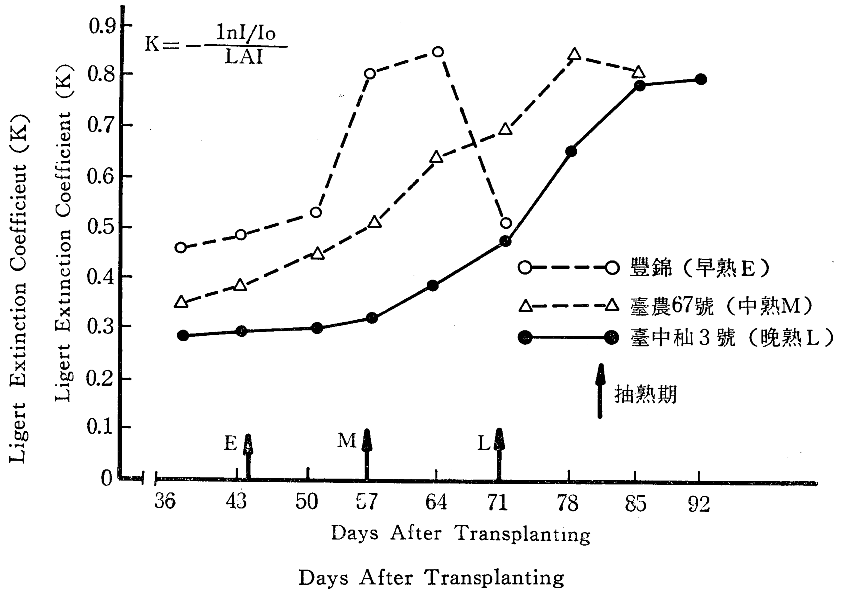


圖3. 二期作水稻各生育期吸光係數（K）之變化

Fig. 3 Changes of light extinction coefficient (K) of rice varieties at stages of development.

圖3可知三品種之吸光係數均由調查初期即移植後36天開始，因生育期之後移而遞增，此與抽穗前 LAI 及抽穗後葉片垂直角度增加有關，葉片互相遮蔭影響羣落內的光度。豐錦於乳熟期吸光係數突然上昇至黃熟期又大幅度的下降。這可能與葉片黃化使葉面積減少以及葉片形態的改變有關。其他兩品種各生育期吸光係數之變化趨勢頗相似，而臺中秈3號於各生育期之吸光係數最小，乃受光態勢良好的表現。前試驗如表2 [4] 第一、二期作臺北與臺中地區抽穗至糊熟期水稻之吸光係數與葉長及葉片垂直角度成正相關，即葉片較短，直立型羣落裡的吸光係數（K）會降低。因此改良株型乃是改進羣落內的受光態勢與降低吸光係數的有效方法。

綜合以上三品種於生育各期之 CGR、NAR、RGR 以及吸光係數等生理現象之反應情形而言，臺中秈3號於各生育期之變化幅度最小，尤其是穀粒充實期皆能保持較高的 CGR、NAR、 RGR 以及較小的吸光係數，維持良好的受光態勢，這對其光合成能力有莫大的幫助，若有良好栽培環境臺中秈3號則具有高產的潛力。

引 用 文 獻

1. 陳建山、黃定鼎、劉大江。1981。機插水稻之生育與生理研究。Ⅰ、氮素、葉綠素及非構造性碳水化合物之濃度變化。中華農業研究30（2）：89—98。
2. 蔡金川。1982。水稻葉色與葉片全氮濃度品種間差異。中華農業研究31（3）：246—255。
3. 蔡金川。1984。水稻葉面積指數與產量之關係。中華農業研究33（2）：109—116。
4. 蔡金川。水稻不同區域與期作間生理特性之比較（未發表）。
5. 村田吉男，1961。水稻の光合成とその栽培學的意義に關する研究，農技研報D11：1—169
6. 津野幸人，1970。イネの科學—多收技術の見方考元方。農山漁村文化協會。
7. 田中明，1973。Source—Sink 關係よりみた多收性の解析。育種學最近の進步 第15集。日本育種學。29—30。
8. 松尾孝嶺監修，1974。育種ハンドブツク。
9. 武田友四郎、翁仁憲、縣和一。1980。水稻の子實生產に對する實肥の效果。日本作物學會九州支部會報 第47別册 59—63。

10.武田友四郎、岡三德、縣和一。1983。暖地における水稻品種の物質生產に關する研究　第1報　明治以降の新舊品種の乾物生產特性。日作紀52（3）：299—306。

11.International Rice Research Institute. 1970. AnnualReport, pp. 30-140. Los Banos, Philippines.

12.Monsi, M. und Saeki. T. 1953. über den Lichtfaktor in den Pflanzen Gesellschaften und seine Bedentung für die Stoffproducktion. Jap. J. Bot., 14: 22-52.

13.Sivakumar M. V. K. and R. H. shaw 1978. Methods of Growth Analysis in Field Grown Soya Bean (*Glycine Max* (L.) Merrill). Ann. Bot. 42, 213-222.

14.Oka, H. I. H. Morishima, T. T. Chang and O. Tagnmpay. 1970. Analysis of genetic variation in plant type of rice. V. Early Vs sustained vigor types in growth and their bearing on yield potential. Theo. Appl. Genet. 40: 50-55.

15.Ray, S. and M. A. Chondhuri. 1981. Mobilization of Metabolites from leaves to grain as the Cause of Monocarpic senescence in Rice. plant physiol. 68: 1345-1348

Studies on the Growth Analysis and Light Extinction Coefficient in Rice Plants[1].

Jin-Chuan Tsai[2]

Summary

Early, medium and late maturing varieties wexe grown under natural conditions at the experiment al field of Taiwan Agricultural Research Institute. A study was conducted to determine the pattern of growth and light interception in a field rice community.

The results showed that the lower and total LAI (upper+lower leaves) of early maturing variety attained highest LAI values at heading and decreased thereafter, upper leaves reached maxi mum LAI value at milk stage. The upper leaves of the medium maturing variety Tainung 67 had maintained the constant LAI for four weeks. At the dough-ripe stage it's LAI began to decline. The upper, lower and total LAI of late maturing variety Taichung sen 3 showed the maximum LAI value at booting stage.

From early sampling (43 days after transplanting), the CGR, NAR and RGR of Toyonishiki declined rapidly during the stages of development. The three curves (CGR, NAR, RGR) of Tainung 67 were shown in the similar pattern and the highest in heading. The sxmooth curve of CGR appeared in Taichung sen 3. It was shown two higher CGR, one week before and after heading, but lower than others. The RGR of Taichung sen 3. tended to straight line, decreased slowly aftər heading.

The light extinction coefficient of three varieties increased slowly from the early sampling(36 days after transplanting). But in the maturity, Toyonishiki declined suddenly and Tainung 67 decreased smaller. Light extinction coefficient was the smallest in Taichungsen 3 during the growth period. It would appear thal this variety has more light intensity among the varietal community.

---

1. Contribution No. 1229 from Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Assistant Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, ROC.